

1

La fisiología no es una ciencia ni una profesión, sino un punto de vista. –Ralph W. Gerard.

Introducción a la fisiología

Sistemas fisiológicos

Funciones y procesos

Homeostasis

Fisiología: más allá del genoma

La fisiología es una ciencia integradora

Temas de fisiología

La ciencia de la fisiología

- 9 Los buenos experimentos científicos deben diseñarse con cuidado
- 10 Los resultados de los experimentos en seres humanos pueden ser difíciles de interpretar
- 11 Los estudios en seres humanos pueden adoptar muchas formas

Búsqueda y lectura de literatura científica

Durante la mayor parte de la historia, a los seres humanos les ha interesado cómo funciona su cuerpo. Los textos de los antiguos egipcios, indios y chinos describen los intentos de sus médicos para tratar las enfermedades y devolver la salud. Aunque algunos remedios antiguos, como el estiércol de camello y el polvo de cuernos de carnero, pueden parecer extraños, aún utilizamos otros, como las sanguijuelas y las sustancias químicas derivadas de las plantas medicinales. La forma en que usamos estos tratamientos cambió a medida que aprendíamos más sobre el cuerpo humano. Para tratar las enfermedades y las lesiones de manera adecuada, debemos primero comprender al cuerpo humano en estado de salud.

La **fisiología** es el estudio del funcionamiento normal de un organismo vivo y las partes que lo componen, incluidos sus procesos químicos y físicos. La palabra *fisiología* significa literalmente “estudio de la naturaleza”. Aristóteles (384-322 a.C.) utilizó el término en este sentido amplio para describir el funcionamiento de todos los organismos vivos, no solamente el del cuerpo humano. Pero Hipócrates (hacia 460-377 a.C.), considerado el padre de la medicina, usaba el término *fisiología* con el significado de “el poder curativo de la naturaleza”, y por lo tanto la disciplina se asoció más estrechamente con la medicina. Hacia el siglo XVI en Europa, la fisiología se había establecido formalmente como el estudio de las funciones vitales del cuerpo humano, aunque hoy el término se usa nuevamente para referirse al estudio de las funciones de todos los animales y las plantas.

En contraste, la **anatomía** es el estudio de la estructura, con mucho menos énfasis en la función. A pesar de esta distinción, la anatomía y la fisiología no pueden en realidad separarse. La función de un tejido u órgano se relaciona estrechamente con su estructura, y se supone que esta estructura evolucionó para brindar una base física eficaz para su función.

SISTEMAS FISIOLÓGICOS

Para comprender cómo se relacionan la fisiología y la anatomía, debemos examinar primero las partes que forman el cuerpo humano. La figura 1-1 muestra los diferentes **niveles de organización** de los organismos vivos, desde los átomos hasta los grupos de la misma especie (*poblaciones*) y poblaciones de distintas especies que conviven en *ecosistemas* y en la *biosfera*. La figura

muestra las diferentes subdisciplinas de la química y la biología relacionadas con el estudio de cada nivel de organización. Existe una superposición importante entre los distintos campos, y esta división artificial puede variar de acuerdo con quién los defina. Una característica distintiva de la fisiología es que comprende muchos niveles de organización, desde el nivel molecular en adelante hasta una especie.

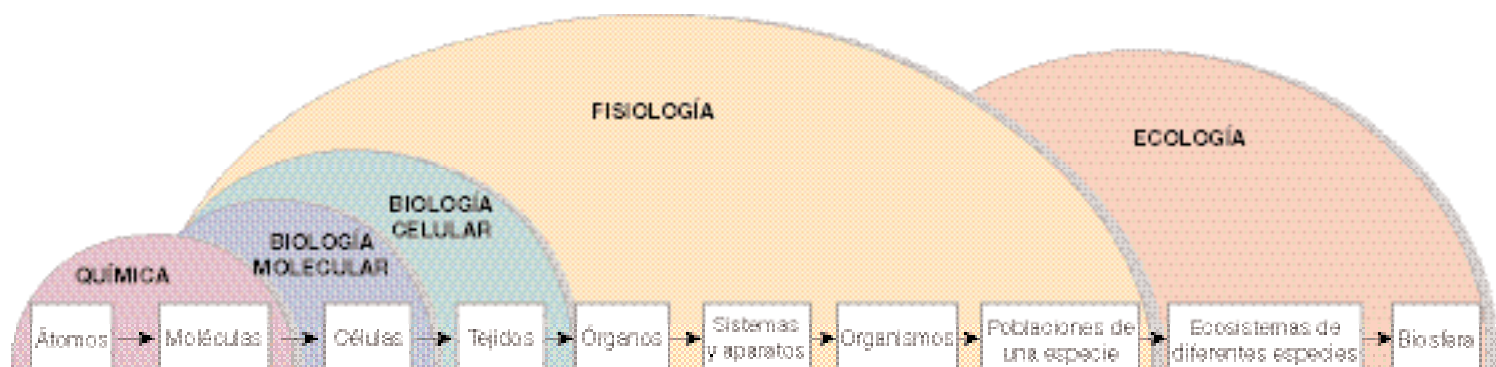
En el nivel más bajo, los átomos de los elementos se unen para formar moléculas. La unidad estructural más pequeña capaz de llevar adelante los procesos vitales es la **célula**. Las células son conjuntos de moléculas separadas del entorno por una barrera llamada *membrana celular* (o *plasmática*). Los organismos simples están formados por una sola célula, pero los complejos tienen muchas de ellas con especializaciones estructurales y funcionales diferentes.

Los grupos de células que llevan a cabo funciones relacionadas se conocen como **tejidos** (*texere*, tejer). Los tejidos forman unidades funcionales y estructurales llamadas **órganos** (*organon*, herramienta), y los grupos de órganos integran sus funciones para crear **sistemas y aparatos**.

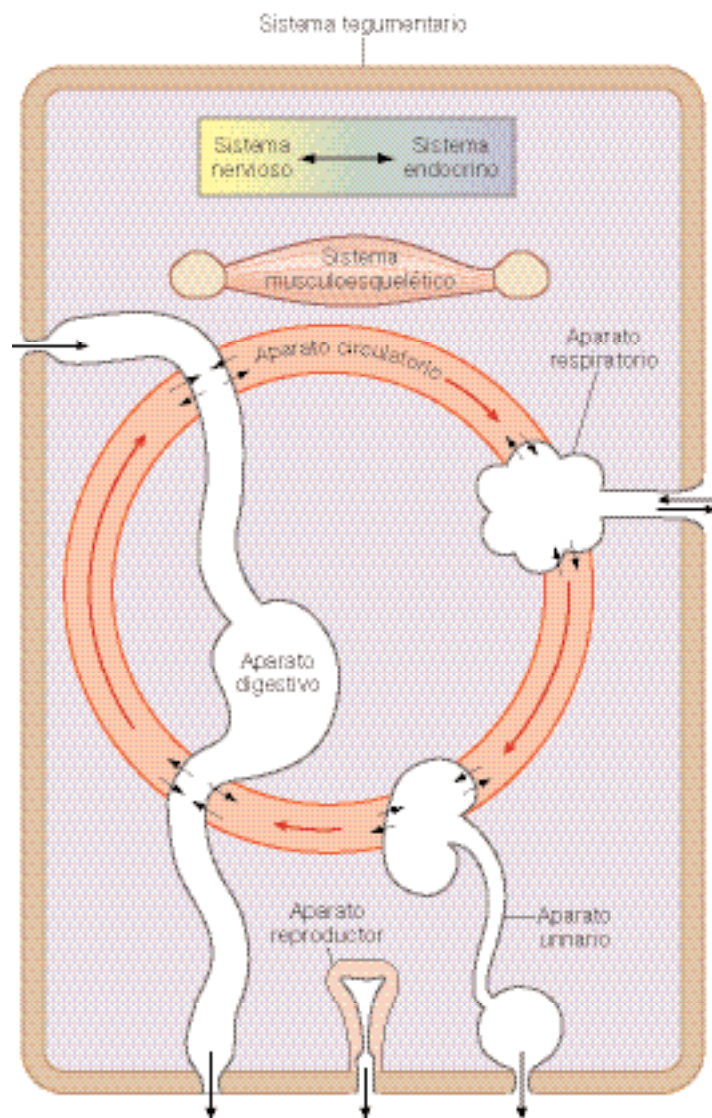
La figura 1-2 es un esquema que muestra las interrelaciones de la mayoría de los 10 sistemas y aparatos del cuerpo humano (Cuadro 1-1). El **sistema tegumentario** (*integumentum*, recubrimiento), constituido por la piel, es una barrera protectora que separa el medio interno del cuerpo del medio externo (el mundo exterior). El **sistema musculoesquelético** brinda soporte y movimiento al cuerpo.

Cuatro aparatos intercambian material entre los medios interno y externo. El **aparato respiratorio** intercambia gases, el **aparato digestivo** toma nutrientes y agua y elimina desechos, el **aparato urinario** remueve el exceso de agua y materiales de desecho, y el **aparato reproductor** produce óvulos o espermatozoides.

Los cuatro sistemas y aparatos restantes se extienden por todo el cuerpo. El **aparato circulatorio** distribuye los materiales bombeando la sangre por los vasos. Los **sistemas nervioso y endocrino** coordinan las funciones orgánicas. Nótese que la figura los muestra como algo continuo, más que como dos sistemas separados. ¿Por qué? Porque a medida que hemos aprendido más sobre la naturaleza integradora de las funciones fisiológicas, los límites entre ambos sistemas se han hecho más borrosos. El único sistema que no se muestra en la figura 1-2 es el difuso **sistema inmu-**



■ FIGURA 1-1 Niveles de organización y sus campos de estudio relacionados



■ FIGURA 1-2 Integración entre los sistemas y aparatos del cuerpo

Esta figura esquemática indica las relaciones entre los sistemas y aparatos del cuerpo humano. El interior de algunos órganos huecos (mostrados en blanco) se abre hacia el medio externo.

nitario. Las células inmunitarias se ubican de manera de interceptar los materiales que puedan ingresar a través de las superficies de intercambio o de una herida en la piel, y protegen el medio interno de los invasores extraños. Además, los tejidos inmunitarios se asocian estrechamente con el sistema circulatorio.

FUNCIONES Y PROCESOS

Función y proceso son dos conceptos relacionados en fisiología. La **función** de un sistema o un evento fisiológico es el “por qué” de ese sistema o evento: ¿por qué existe el sistema y por qué ocurre el evento? Esta manera de pensar acerca de un tema se denomina **enfoque teleológico** de la ciencia. Por ejemplo, la respuesta teleológica a la pregunta de por qué los glóbulos rojos de

la sangre transportan oxígeno es “porque las células necesitan oxígeno y los glóbulos rojos lo llevan hasta ellas”. Esta respuesta explica la razón por la cual los eritrocitos transportan oxígeno pero no dice nada sobre *cómo* lo hacen.

Por el contrario, los **procesos** fisiológicos, o **mecanismos**, son el “cómo” de un sistema. El **enfoque mecanicista** de la fisiología examina los procesos. La respuesta mecanicista a la pregunta “¿por qué los glóbulos rojos transportan oxígeno?” es “el oxígeno se une a las moléculas de hemoglobina que están presentes en los glóbulos rojos”. Esta respuesta muy concreta explica exactamente cómo ocurre el transporte de oxígeno pero no dice nada sobre la importancia del transporte de oxígeno para el animal vivo.

Los estudiantes a menudo confunden estos dos enfoques de pensamiento sobre la fisiología, y las investigaciones han demostrado que incluso los estudiantes de medicina tienden a responder las preguntas con explicaciones teleológicas cuando la respuesta más apropiada sería una explicación mecanicista. A menudo, esto ocurre porque el profesor pregunta “por qué” ocurre un evento fisiológico, cuando en realidad quiere saber “cómo”. Conocer los dos enfoques ayudará a evitar esta confusión.

Aunque la función y el proceso parecen ser las dos caras de una misma moneda, es posible estudiar procesos, especialmente en los niveles celular y subcelular, sin comprender su función en la vida del organismo. A medida que el conocimiento de la biología se hace más complejo, los científicos a menudo se ven tan abocados al estudio de procesos complejos que no pueden dar un paso atrás y ver la importancia de esos procesos en las células, los sistemas y aparatos o el animal vivo. Uno de los papeles de la fisiología es integrar función y proceso en una sola imagen completa.

HOMEOSTASIS

Cuando pensamos en funciones fisiológicas, a menudo consideramos su **importancia adaptativa**, es decir, ¿por qué determinada función ayuda al animal a sobrevivir en una situación particular? Por ejemplo, los seres humanos somos animales grandes, móviles y terrestres, y nuestros cuerpos mantienen un contenido de agua relativamente constante a pesar de vivir en un entorno seco y muy variable. ¿Qué estructuras y mecanismos han evolucionado en nuestra anatomía y fisiología para permitirnos sobrevivir en este entorno hostil?

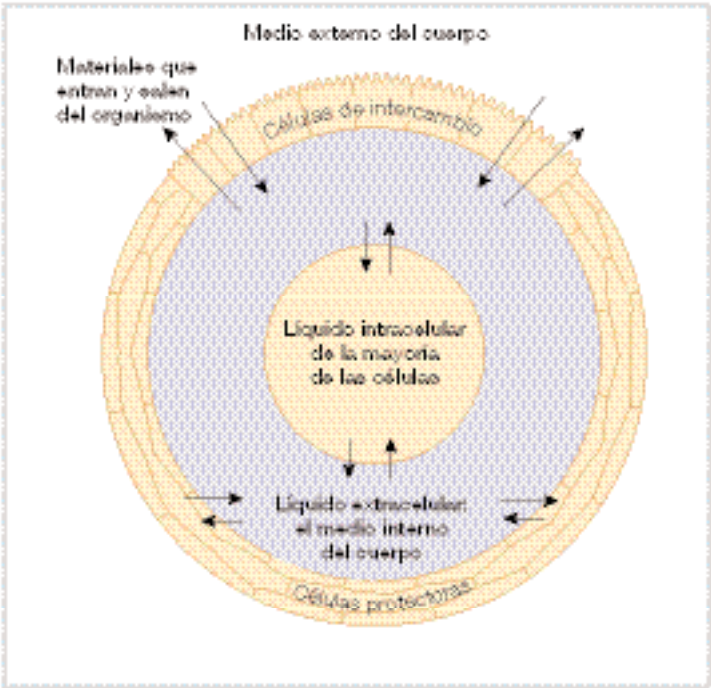
La mayoría de las células de nuestro cuerpo no tolera demasiado los cambios en su entorno. En este aspecto son bastante similares a los organismos primitivos que vivían en los mares tropicales, un medio estable donde la salinidad, el contenido de oxígeno y el pH varían poco, y donde la luz y la temperatura tienen ciclos de variación predecibles. La composición interna de estas antiguas criaturas era casi idéntica a la del agua marina, y si las condiciones del entorno cambiaban, las del interior del organismo primitivo lo hacían de igual modo. Aún hoy, los invertebrados marinos no pueden tolerar cambios significativos en la salinidad o el pH, como sabe bien quien ha tenido un acuario de agua salada. Antes como ahora, muchos organismos marinos dependían de la constancia de su medio externo para mantener su medio interno en equilibrio.

CUADRO 1-1 Sistemas y aparatos del cuerpo humano		
NOMBRE DEL SISTEMA O APARATO	ÓRGANOS O TEJIDOS	FUNCIONES REPRESENTATIVAS
Circulatorio	Corazón, vasos, sangre	Transporte de materiales entre todas las células del cuerpo
Digestivo	Estómago, intestinos, hígado, páncreas	Conversión de los alimentos en partículas que pueden ser transportadas dentro del cuerpo; eliminación de algunos desechos
Endocrino	Glándula tiroides, glándula adrenal	Coordinación de las funciones corporales mediante la síntesis y liberación de moléculas reguladoras
Inmunitario	Timo, bazo, ganglios linfáticos	Defensa contra invasores externos
Tegumentario	Piel	Protección del medio externo
Musculoesquelético	Músculos esqueléticos, huesos	Soporte y movimiento
Nervioso	Cerebro, médula espinal	Coordinación de las funciones corporales mediante señales eléctricas y liberación de moléculas reguladoras
Reproductor	Ovarios y útero, testículos	Continuación de la especie
Respiratorio	Pulmones, vías aéreas	Intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre los medios interno y externo
Urinario	Riñones, vejiga	Mantenimiento del agua y los solutos del medio interno; eliminación de desechos

Pero, a medida que los organismos evolucionaron y migraron de los antiguos mares a los estuarios, y luego al agua dulce y a la tierra, encontraron medios externos altamente variables. Las lluvias diluyen el agua salada de los estuarios, y los organismos que viven en ellos deben enfrentarse con la entrada de agua en sus líquidos corporales. Los organismos terrestres constantemente pierden agua interna en el aire seco que los rodea. Los organismos que sobreviven en estos hábitats hostiles sobrellevan la variabilidad externa manteniendo su medio interno relativamente estable, una capacidad que se conoce como **homeostasis** (*homeo-*, similar; *-stasis*, condición).

El medio interno acuoso de los animales multicelulares se llama **líquido extracelular** (*extra-*, por fuera de), un “mar interior” del cuerpo que rodea a las células (Fig. 1-3 ■). El líquido extracelular sirve como transición entre el medio externo del organismo y el **líquido intracelular** del interior de las células (*intra-*, dentro de). Como el líquido extracelular es una zona reguladora entre el mundo exterior y la mayoría de las células del cuerpo, hay procesos fisiológicos complejos que han evolucionado para mantener relativamente estable su composición.

Cuando la composición del líquido extracelular se aleja de su rango de valores normales, se activan mecanismos compensatorios que lo llevan a su estado normal. Por ejemplo, cuando se bebe un gran volumen de agua, la dilución del líquido extracelular dispara un mecanismo que hace que los riñones eliminen el exceso de agua y protejan a las células de la dilución. La mayoría de las células de los animales multicelulares no toleran grandes cambios y dependen de la estabilidad del líquido extracelular para mantener su funcionamiento normal.



■ FIGURA 1-3 *Relaciones entre los medios interno y externo de un organismo.*

Pocas células del organismo son capaces de intercambiar materiales con el medio externo. La mayoría de ellas está en contacto con el medio interno, formado por el líquido extracelular.

El concepto de un medio interno relativamente estable fue desarrollado por el médico francés Claude Bernard a mediados del siglo XIX. Durante sus estudios en medicina experimental, Bernard notó la estabilidad de varios **parámetros*** fisiológicos, tales como la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y la presión arterial. Como jefe de la cátedra de fisiología en la Université de Paris, escribió sobre “la fixité du milieu intérieur” (la constancia del medio interno). Ésta es una idea que aplicó a muchas de las observaciones experimentales de su época y fue tema de debate entre fisiólogos y médicos.

En 1929, un fisiólogo estadounidense llamado Walter B. Cannon creó la palabra *homeostasis* para describir la regulación de este medio interno. En su ensayo**, Cannon explicó que eligió el prefijo *homeo-* (que significa *parecido* o *similar*) en lugar de *homo-* (que significa *igual*) porque el medio interno se mantiene dentro de un rango de valores, en lugar de tomar un valor exacto y fijo. También indicó que el sufijo *-stasis* en este caso significa *condición*, no un estado que permanece estático e invariable. Así, la homeostasis de Cannon es un estado en el que se mantiene “una condición similar”, también descrita como “un medio interno relativamente constante”.

Algunos fisiólogos sostienen que una interpretación literal de *stasis* (un estado permanente) en la palabra *homeostasis* remite a la idea de algo estático, sin cambios. Destacan que deberíamos usar en su lugar la palabra *homeodinámica*, para reflejar los pequeños cambios que ocurren permanentemente en nuestro medio interno (*dynamikos*, fuerza o poder). Ya sea que el proceso se llame homeostasis u homeodinámica, el concepto importante para recordar es que el cuerpo controla su estado interno y actúa corrigiendo las alteraciones que atenten contra su función normal. La homeostasis y la regulación del medio interno son los preceptos centrales de la fisiología y conforman una base para cada capítulo de este libro.

A partir de las observaciones hechas por muchos fisiólogos y médicos durante el siglo XIX y principios del siglo XX, Cannon propuso una lista de parámetros que se encuentran bajo control homeostático. Sabemos ahora que su lista de parámetros fisiológicos es tan exacta como completa. Cannon clasificó sus parámetros en lo que describió como parámetros ambientales que afectan a las células (osmolaridad, temperatura y pH) y los “materiales para las necesidades celulares” (nutrientes, agua, sodio, calcio, otros iones inorgánicos, oxígeno y “las secreciones internas que tienen efectos generales y continuos”). Las “secreciones internas” de Cannon son las hormonas y otras sustancias químicas que nuestras células utilizan para comunicarse entre sí.

Si el cuerpo no logra mantener la homeostasis entre estos parámetros, la función normal se interrumpe y puede aparecer como resultado un estado de enfermedad, o **patológico** (*pathos*, sufrimiento). Las enfermedades pueden dividirse en dos grupos generales de acuerdo con su origen: aquellas en las cuales el problema surge de la falla interna de algún proceso fisiológico, y aquellas que tienen origen en una fuente externa. Las causas in-

ternas de las enfermedades incluyen el crecimiento anormal de las células, que puede provocar cáncer o tumores benignos, la producción de anticuerpos contra los propios tejidos (enfermedades autoinmunitarias), y la muerte prematura de las células o la falla de los procesos celulares. Los trastornos hereditarios son considerados también como producidos por causas internas. Las causas externas de las enfermedades son los químicos tóxicos, los traumatismos físicos y los invasores externos como virus y bacterias. Tanto en las enfermedades causadas por factores internos como en las causadas por factores externos, cuando se interrumpe la homeostasis, el organismo intenta compensarlo (Fig. 1-4 ■). Si la compensación tiene éxito, la homeostasis se restablece. Si la compensación falla, puede aparecer la enfermedad. El estudio de las funciones orgánicas en un estado de enfermedad se conoce como **fisiopatología**. Se encontrarán muchos ejemplos de fisiopatología a medida que estudiemos los distintos sistemas y aparatos del organismo.

Una enfermedad muy frecuente en los Estados Unidos es la **diabetes mellitus**, una alteración metabólica caracterizada por concentraciones de glucosa en la sangre anormalmente elevadas. Aunque hablamos de diabetes como si fuese una enfermedad única, es en realidad una familia de trastornos de causas y manifestaciones diversas. Aprenderemos más sobre la diabetes en los recuadros que aparecen a lo largo de los capítulos de este libro. La influencia de esta alteración en muchos de los aparatos y sistemas del organismo la hace un excelente ejemplo de la integración fisiológica.



■ FIGURA 1-4 Homeostasis

*Un parámetro (*para-*, además; *meter*, medida) es una de las variables de un sistema.

**Cannon WB. Organization for physiological homeostasis. *Physiol Rev* 9:399-443, 1929.

FISIOLOGÍA: MÁS ALLÁ DEL GENOMA

No hubo nunca una época más emocionante para el estudio de la fisiología humana. Hoy tenemos el beneficio de siglos de trabajo de fisiólogos que construyeron las bases del conocimiento sobre cómo funciona el cuerpo humano. Desde la década de 1970, los rápidos avances en los campos de la biología celular y molecular han complementado este trabajo. Pocas décadas atrás pensamos que encontraríamos la clave del secreto de la vida secuenciando el *genoma* humano, que es el término que define a toda la información genética contenida en el DNA de una especie. Sin embargo, se ha probado que esta visión de la biología tiene sus limitaciones, ya que los organismos vivos son mucho más que la simple suma de sus partes.

El proyecto para decodificar el genoma humano, el Human Genome Project (www.ornl.gov/hgmis) comenzó en 1990 con el objetivo de identificar y secuenciar todos los genes del DNA humano (el genoma). Sin embargo, a medida que las investigaciones incrementaron nuestro conocimiento sobre la función del DNA, la idea original de los científicos de que un segmento dado de DNA contenía un gen que codificaba a una proteína tuvo que ser revisada, cuando se hizo evidente que un gen puede codificar a varias proteínas. El Human Genome Project se completó en 2003, pero antes de ese momento los científicos habían ido más allá de la genómica a la *proteómica*, el estudio de las proteínas en los organismos vivos. Actualmente los científicos se están dando cuenta de que saber que una proteína se sintetiza en una célula en especial no siempre nos dice qué importancia tiene en ella, en el tejido o en el animal. Las nuevas y emocionantes áreas de la investigación biológica se llaman genómica funcional, biología de los sistemas y biología integradora, pero son fundamentalmente campos de la fisiología que investigan las funciones de manera integrada, desde los mecanismos subcelulares al organismo entero.

Si leemos la literatura científica, pareciera que las investigaciones contemporáneas, con el uso de las herramientas de la biología molecular, han explotado en una era de “omas” y “ómicas”. ¿Qué es un “oma”? El sufijo aparentemente deriva de la palabra en latín que significa masa o tumor, pero actualmente se usa para referirse a un grupo de elementos que suman un todo, como el genoma. Uno de los primeros usos del sufijo “oma” en biología es la palabra *bioma*, que significa una comunidad entera de organismos que viven en una región ecológica importante, como el bioma marino o el bioma desértico. El genoma es la suma de todos los genes de un organismo, y el proteoma es la suma de todas sus proteínas.

Los adjetivos derivados terminados en “ómica” describen a la investigación relacionada con el estudio de un “oma”, y agregar ese sufijo a una palabra se ha convertido en la manera más precisa de referirse a un campo de estudio. Así, el tradicional estudio de la bioquímica ahora incluye a la metabolómica (estudio de las vías metabólicas) y la interacciómica (estudio de las interacciones entre las proteínas). Si buscamos en Internet, encontraremos muchas menciones al transcriptoma (RNA), lipidoma (lípidos) y glucoma (carbohidratos). La locura del “oma” también ha dado origen a términos como celuloma, enzimoma, y hasta “desconocidoma” (proteínas sin funciones conocidas). ¡Existe incluso una publicación llamada *OMICS* (el término para “ómica” en inglés)!

El Physiome Project (www.physiome.org) es un esfuerzo internacional organizado para coordinar la información molecular, celular y fisiológica sobre los organismos vivos en una base de datos en Internet. Los científicos de todo el mundo pueden acceder a esta información y utilizarla en sus propias investigaciones para crear mejores fármacos o terapias genéticas para curar y prevenir enfermedades. Algunos científicos están usando estos datos para crear modelos matemáticos que explican cómo funciona el cuerpo. El Physiome Project es un emprendimiento ambicioso que promete integrar la información surgida en distintas áreas de investigación, para que podamos acrecentar nuestro conocimiento sobre los complejos procesos que llamamos vida.

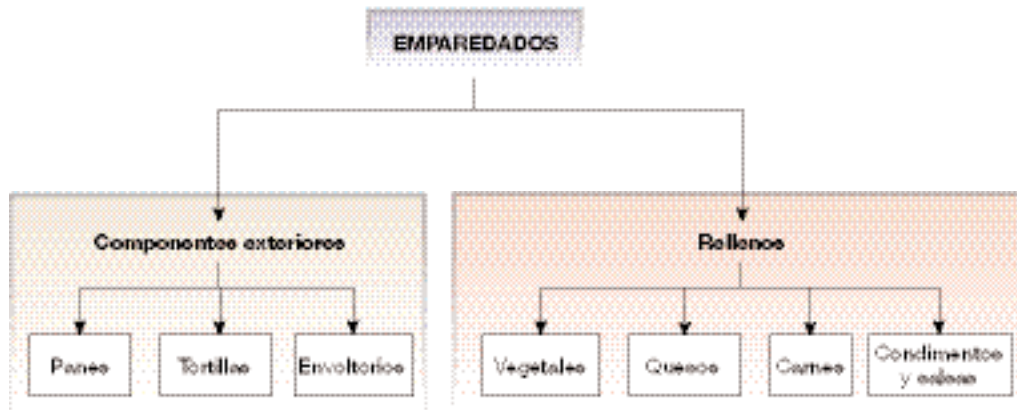
LA FISIOLOGÍA ES UNA CIENCIA INTEGRADORA

Los fisiólogos están entrenados para pensar en la **integración** de las funciones a través de varios niveles de organización, desde las moléculas al organismo vivo. (*Integrar* significa sumar varios elementos para crear un todo unificado.) Uno de los desafíos actuales de la fisiología es integrar la información sobre los diferentes sistemas y órganos para obtener una visión completa del organismo humano vivo. Este proceso se complica por el hecho de que muchos sistemas complejos, incluidos los del cuerpo humano, poseen **propiedades emergentes**, que son propiedades cuya existencia no puede predecirse basándose solamente en el conocimiento de sus componentes individuales. Una propiedad emergente no es una propiedad de un solo componente del sistema, y es mucho mayor que la simple suma de sus partes individuales. Entre las propiedades emergentes más complejas en los seres humanos se encuentran las emociones, la inteligencia y otros aspectos de las funciones cerebrales, ninguna de las cuales puede predecirse a partir del conocimiento de las propiedades individuales de las células nerviosas.

Como se mencionó anteriormente, la integración de las funciones entre los sistemas y a través de varios niveles de organización es un tema central de la fisiología. Tradicionalmente, los estudiantes aprenden sobre el aparato cardiovascular y la regulación de la presión arterial en una unidad, luego estudian los riñones y el control del volumen corporal en otra diferente. En el organismo vivo, sin embargo, los aparatos cardiovascular y renal se comunican entre sí, y un cambio en uno de ellos probablemente cause una reacción en el otro. Por ejemplo, la presión arterial está influida por el volumen del cuerpo, y los cambios en ella pueden tener efectos significativos en la función de los riñones. Uno de los aspectos más interesantes y desafiantes del estudio de la fisiología es el desarrollo de habilidades que nos ayuden a entender cómo trabajan juntos los distintos sistemas y aparatos. Una de las maneras en que los fisiólogos lo hacen es usando dos tipos de mapas. El primer tipo de mapa, que se muestra en la figura 1-5a, es una representación esquemática de la estructura o la función. El segundo tipo de mapa, que se muestra en la figura 1-5b, muestra el proceso fisiológico y por ende se lo llama mapa de proceso. (Un nombre alternativo es *diagrama de flujo*.)

El concepto de función integrada es el principio regente de la **investigación aplicada**, un enfoque descrito a veces como “del

(a) Mapa que muestra relaciones entre estructuras y funciones



PREGUNTAS

1. ¿Puede agregar más detalles e interrelaciones al mapa (a)?

2. Aquí hay un listado de términos para construir un mapa del cuerpo humano. Use los párrafos comentados en *Mapas* para crear un mapa con ellos. Agregue más términos si lo desea. Al final del capítulo encontrará una respuesta simplificada.

- | | | |
|--------------------------|------------------------------|------------------------|
| * vejiga | * intestino | * aparato reproductor |
| * vasos sanguíneos | * riñones | * aparato respiratorio |
| * cerebro | * pulmones | * estómago |
| * aparato cardiovascular | * ganglio linfático | * testículos |
| * aparato digestivo | * boca | * el cuerpo |
| * corazón | * sistema musculoesquelético | * glándula tiroidea |
| * sistema inmunológico | * sistema nervioso | * aparato urinario |
| * sistema tegumentario | * ovarios | * útero |

(b) Mapa de proceso o diagrama de flujo



FIGURA 1-5 Tipos de mapas

laboratorio a la cama del paciente”. La investigación aplicada lleva los conocimientos y resultados obtenidos en la investigación biomédica básica al tratamiento y la prevención de las enfermedades. A nivel de los aparatos y sistemas, conocemos casi completamente la mecánica de la función corporal. Las preguntas sin respuesta apuntan a la integración y el control de estos mecanismos, especialmente en los niveles celular y molecular. Sin embargo, la explicación de lo que ocurre en los tubos de ensayo o en las células aisladas puede responder sólo parcialmente las preguntas sobre la función. Por este motivo, los estudios en animales y en seres humanos son pasos esenciales en el proceso de aplicar la investigación básica al tratamiento y la cura de las enfermedades.

TEMAS DE FISIOLÓGÍA

Recuérdese la frase que abre este capítulo: “La fisiología no es una ciencia ni una profesión, sino un punto de vista”*. Los fisiólogos se jactan de relacionar los procesos que estudian con el funcionamiento del organismo como un todo. Ser capaz de pensar en cómo múltiples órganos y sistemas integran su funcionamiento

to es uno de los aspectos más difíciles del estudio de la fisiología, y si uno quiere especializarse en ella, debe hacer más que simplemente memorizar hechos y aprender nueva terminología. Los investigadores han demostrado que la capacidad de resolver problemas requiere un marco conceptual, o una “imagen completa”, del campo.

Este libro le ayudará a construir un marco conceptual para la fisiología, describiendo explícitamente los conceptos biológicos básicos, o *temas* (Cuadro 1-2 ■). Cuatro temas principales en este

CUADRO 1-2

Conceptos clave (temas) de la fisiología

1. Homeostasis y sistemas de control
2. Uso de la energía biológica
3. Relaciones entre estructura y función
 - Compartimentación
 - Propiedades mecánicas de células, tejidos y órganos
 - Interacciones moleculares
4. Comunicación
 - Flujo de información
 - Flujo de masa

*Gerard RW. *Mirror to Physiology: A Self-Survey of Physiological Science*. Washington, D.C.: American Physiology Society, 1958.



M A P E O

El mapeo es una forma no lineal de organizar el material, que ha mostrado mejorar nuestra comprensión y retención de un tema. Es una herramienta de estudio útil, porque para crear un mapa es necesario pensar sobre la importancia y las relaciones entre varios fragmentos de información. Los estudios han demostrado que, cuando las personas interactúan con la información organizándola a su manera *antes* de memorizarla, se mejoran los resultados del aprendizaje a largo plazo.

El mapeo no es solamente una técnica de estudio. Los expertos en un tema construyen mapas cuando intentan integrar información nueva a su base de conocimientos, y pueden crear dos o tres versiones de un mapa antes de estar satisfechos con el modo en que éste representa sus ideas. Los científicos realizan mapas con los pasos de sus experimentos. Los profesionales sanitarios lo hacen para guiarse en el diagnóstico y el tratamiento de los pacientes.

Un mapa puede tomar varias formas, pero en general está formado por términos (palabras o frases cortas) vinculadas con flechas que indican las asociaciones entre ellas. Habitualmente hay tres tipos de asociaciones entre los términos de un mapa: parte o tipo, descripción o característica, y causa o efecto. Las flechas pueden marcarse con frases que las expliquen o pueden dibujarse en distintos colores para representar diferentes tipos de vínculos. En fisiología, los mapas generalmente se basan en las relaciones entre estructuras anatómicas y procesos fisiológicos (*mapas de estructura o función*) o en mecanismos de control homeostáticos normales y sus respuestas a los cambios anormales o fisiopatológicos (*mapas de proceso o diagramas de flujo*). Un mapa puede incluir también gráficos o dibujos. La figura 1-5a es una mapa de estructura; las figuras 3-9 y 3-22 son ejemplos de mapas de estructura y función. Las figuras 1-5b y 7-9 son ejemplos de diagramas de flujo.

En este libro se muestran muchos mapas, y pueden servir como punto de partida para que usted cree los suyos propios. El beneficio real surge de prepararlos uno mismo. Realizando el mapeo de la información uno mismo, se piensa sobre las relaciones entre los términos, se organizan los conceptos en una estructura jerárquica, y se ven las similitudes y diferencias entre los elementos. Interactuar con el material de esta manera ayuda a recordarlo a largo plazo, en lugar de simplemente memorizar partes de información y luego olvidarlas.

Comenzar a mapear

1. Primero, **seleccione los términos o conceptos para mapear**. (En cada capítulo de este texto, las preguntas al final incluyen al menos una lista de términos para construir un mapa). A veces es útil escribir los elementos en trozos de papel o notas adhesivas removibles de 5 cm para reacomodarlos con mayor facilidad.
2. En general, la parte más difícil es **decidir por dónde comenzar**. Comience agrupando los términos relacionados de manera organi-

zada. Puede ser que quiera colocar algunos de ellos en más de un grupo. Tome nota de esos términos, ya que probablemente tendrán varias flechas apuntándolos o saliendo de ellos.

3. Ahora trate de **crear cierta jerarquía con los términos**. Puede ordenarlos en un papel, en una mesa o en el piso. En un mapa de estructura o función, comience por arriba con el concepto más general, más importante o primordial, aquel del cual surgen los demás. En un mapa de proceso, comience con el primer evento. Luego, desglose la idea principal en partes progresivamente más específicas, utilizando los demás conceptos, o siga el evento en el tiempo. Use flechas para apuntar en la dirección de los vínculos e incluya líneas horizontales para unir los conceptos relacionados. El desarrollo del mapa hacia abajo significará un aumento de complejidad o el paso del tiempo.

Puede pasar que algunas de sus flechas se crucen entre sí. A veces esto puede evitarse reacomodando los términos del mapa. Las flechas pueden nombrarse con palabras que las expliquen, lo cual puede ser útil. Por ejemplo,

Proteínas de canal $\xrightarrow{\text{(forman)}}$ canales abiertos

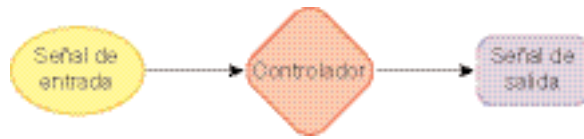
Los colores pueden ser muy útiles en los mapas. Puede usar colores diferentes para los distintos tipos de vínculos o para diferentes categorías de términos. Puede agregar dibujos y gráficos que se asocien con términos específicos del mapa.

4. Una vez que ha creado su mapa, **siéntese y piense en él**. ¿Están todos los términos en el lugar adecuado? Tal vez quiera mover alguno a otro lugar una vez que haya visto el cuadro completo. Revise el mapa para completarlo con nuevos conceptos o para corregir las asociaciones erróneas. Revíselo comenzando con el concepto principal y moviéndose luego hacia detalles más específicos. Pregúntese cosas como: “¿cuál es la causa? ¿Y el efecto? ¿Cuáles son las partes involucradas o las características principales?” para refrescar su memoria.
5. Una forma útil de estudiar con un mapa es **intercambiarlo con un compañero de estudios** y tratar de comprender su mapa. ¡Los mapas por cierto NO se verán iguales! Eso está bien. Recuerde que el mapa refleja lo que usted piensa sobre el tema, que puede ser diferente de lo que piensan los demás. ¿Uno de ustedes incluyó algo que el otro olvidó? ¿Alguno estableció una relación incorrecta entre dos elementos?
6. **Practique construyendo mapas**. Las preguntas de estudio de cada capítulo le darán ideas de lo que debería mapear. Su profesor le puede ayudar a empezar.

libro son la homeostasis y los sistemas de control, el uso de la energía biológica, las relaciones entre estructura y función y la comunicación. A medida que avancemos en el texto, se encontrará que estos conceptos, con variaciones, aparecen repetidamente en los diferentes sistemas.

Homeostasis y sistemas de control Como se mencionó antes en este capítulo, un precepto central de la fisiología humana es la homeostasis, el mantenimiento de un medio interno relativamente

estable. El organismo tiene ciertos parámetros clave, como la presión arterial y la glucemia, que deben mantenerse dentro de un rango particular para que el cuerpo se conserve saludable. Estos parámetros clave son *variables reguladas*, controladas y ajustadas por los sistemas de control fisiológicos. En su forma más simple, un **sistema de control** tiene tres componentes: 1) una señal de entrada, 2) un controlador, que está programado para responder a ciertas señales de entrada, y 3) una señal de salida (Fig. 1-6 ■). Los diferentes tipos de sistemas de control se presentarán en el capítulo 6.



■ FIGURA 1-6 *Un sistema de control simple*

Uso de la energía biológica Los procesos que tienen lugar en los organismos requieren el aporte continuo de energía. ¿De dónde proviene esta energía y cómo se la almacena? En el capítulo 4 se responden estas preguntas y se describen algunas de las formas en que la energía del cuerpo se utiliza para la síntesis y la degradación de moléculas. En capítulos posteriores aprenderemos cómo se usa la energía para transportar moléculas a través de las membranas celulares y para crear movimiento.

Relaciones entre estructura y función La integración de estructura y función es otro de los temas de la fisiología. Entre las influencias estructurales en la función se encuentran las interacciones moleculares, la división del organismo en compartimentos separados y las propiedades mecánicas de células, tejidos y órganos.

Interacciones moleculares La capacidad de las moléculas individuales de unirse o reaccionar con otras moléculas es esencial para las funciones biológicas, y esta capacidad se relaciona íntimamente con la estructura de cada una de ellas. Algunos ejemplos de interacciones entre moléculas son las de las enzimas que aceleran las reacciones químicas, o las moléculas de señalización que se unen a proteínas de las membranas. Las interacciones moleculares se analizarán en el capítulo 2.

División del organismo y de las células en compartimentos

La **compartimentación**, o presencia de compartimentos separados, permite a la célula, el tejido o el órgano especializarse y aislar sus funciones. Las **membranas** separan una célula de otra y del líquido extracelular, y forman compartimentos diminutos dentro de la célula llamados *orgánulos*. A nivel macroscópico, los tejidos y órganos del cuerpo forman compartimentos funcionales separados. La compartimentación es el tema principal del capítulo 3.

Propiedades mecánicas de células, tejidos y órganos Las propiedades físicas de las células y los tejidos son a menudo el resultado directo de su anatomía. Algunas de las propiedades mecánicas de las células y los tejidos que influyen en la función son la *distensibilidad* (capacidad de estirarse), la *elasticidad* (capacidad de retornar al estado original), la fuerza o resistencia, la flexibilidad y la fluidez. Además, las propiedades de los tejidos y órganos especializados del organismo les permiten funcionar como bombas, filtros o motores biológicos.

Comunicación Tanto la integración entre estructura y función como la homeostasis hacen necesario que las células del organismo se comuniquen entre sí con rapidez y eficacia. El flujo de información en el cuerpo se lleva a cabo bajo la forma de señales químicas o de señales eléctricas. La información puede pasar de una célula a sus vecinas (comunicación local) o de una parte del cuerpo a otra (comunicación a larga distancia). La información alma-

cenada en el código genético del DNA pasa de una célula a sus hijas y del organismo a sus descendientes.

La comunicación entre los compartimentos intracelulares y el líquido extracelular requiere de la transferencia de información a través de la barrera de la membrana plasmática. La membrana es *selectivamente permeable*, lo que significa que algunas moléculas pueden pasar a través de ella, pero otras no pueden hacerlo. Los detalles de cómo las moléculas cruzan las membranas biológicas se mostrarán en el capítulo 5.

En algunos casos, existen mecanismos especializados que permiten a las moléculas de señalización extracelulares hacer llegar su mensaje a través de la membrana sin entrar en la célula, un proceso que se llama **transducción de señales**. La comunicación química y la transducción de señales se explican con más detalle en el capítulo 6.

En fisiología también nos ocupa el *flujo de masas*, el movimiento de sustancias dentro de los compartimentos del cuerpo y entre ellos. La sangre fluye por el aparato circulatorio; el aire fluye hacia adentro y hacia afuera de los pulmones; los gases, los nutrientes y los desechos entran y salen de las células. El movimiento de los materiales en este flujo de masas es posible porque existe una fuerza impulsora, como la presión o la diferencia de concentraciones (un **gradiente**). En algunas situaciones, el flujo de masas recibe la oposición de la fricción o de otras fuerzas que crean *resistencia* al flujo. La mayor parte del flujo de masas del cuerpo requiere el aporte de energía en algún punto del proceso. Los conceptos de gradientes, flujo y resistencia se comentarán nuevamente en el capítulo 5.

Los temas aquí descritos aparecerán una y otra vez en los próximos capítulos del libro. Búskelos en el material de resumen y en las preguntas al final de cada uno de ellos.

LA CIENCIA DE LA FISIOLOGÍA

¿Cómo sabemos lo que sabemos sobre la fisiología del cuerpo humano? La observación y la experimentación son los elementos clave de la **investigación científica**. Un investigador observa un hecho y, utilizando los conocimientos previos, formula una **hipótesis** (*hypotithenai*, suponer), o suposición lógica, sobre cómo sucede el hecho. El siguiente paso es probar la hipótesis, mediante el diseño de un experimento en el cual el investigador manipula algún aspecto del hecho.

Los buenos experimentos científicos deben diseñarse con cuidado

Un tipo común de experimento biológico consiste en quitar o alterar alguna variable que el investigador cree que es parte necesaria del fenómeno observado. La variable alterada es la **variable independiente**. Por ejemplo, una bióloga nota que los pájaros de un comedero parecen comer más en invierno que en verano. Ella formula la hipótesis de que la temperatura baja hace que los pájaros incrementen su consumo de alimento. Para probar esta hipótesis, diseña un experimento en el cual somete a los pájaros a diferentes temperaturas y controla cuánto comen. En su experimento, la temperatura, el elemento que se manipula, es la variable independiente. La ingesta de comida, que se supone que

depende de la temperatura, se transforma en la **variable dependiente**.

REVISIÓN

1. Los estudiantes de un laboratorio llevan a cabo un experimento en el cual beben distintos volúmenes de agua y miden la cantidad de orina producida en la hora posterior. ¿Cuáles son las variables independiente y dependiente en este experimento?

Respuestas en la p. 18

Una característica esencial de cualquier experimento es el **control**. Un grupo control es generalmente un duplicado del grupo experimental en todos los aspectos, excepto en que la variable independiente no cambia con respecto a su valor inicial. Por ejemplo, en el experimento de los pájaros, el grupo control sería un grupo de animales que se mantienen a una temperatura cálida, pero tratados en todos los demás aspectos igual que los sometidos a temperatura fría. El propósito del grupo control es asegurarse de que los cambios observados se deben a la variable que se manipula y no al cambio de alguna otra variable. Por ejemplo, supóngase que en este experimento la ingesta de comida aumenta después de que el investigador cambia el tipo de alimento provisto. A menos que exista un grupo control, el investigador no puede determinar si el aumento de ingesta se debe a la temperatura o al hecho de que la nueva comida es más sabrosa.

Durante el experimento, el investigador recolecta con gran cuidado la información, o **datos** (*datum*, lo que se da), sobre el efecto que la variable manipulada (independiente) tiene sobre la variable observada (dependiente). Una vez que el investigador cree que ya tiene suficiente información para obtener una conclusión, comienza a analizar los datos. El estudio puede tomar varias formas y en general incluye un análisis estadístico para determinar si las diferencias aparentes son significativas. Un formato habitual para presentar los datos es un gráfico (véase la Fig. 1-7 ■ en Gráficos).

Si un experimento apoya la hipótesis de que el frío hace que los pájaros ingieran más alimento, entonces se lo debe repetir, para asegurarse que los resultados no se deben a un evento aislado y único. Este paso se denomina **replicación**. Cuando los datos sostienen a la hipótesis en varios experimentos, ésta puede transformarse en una **teoría científica**.

La mayor parte de la información que se presenta en los libros de texto como éste está basada en **modelos** que los científicos han desarrollado a partir de la mejor evidencia experimental disponible. A veces, se publican nuevas evidencias experimentales que no concuerdan con un modelo vigente. En este caso, el modelo debe revisarse para que sea coherente con las nuevas observaciones. Así, aunque se pueda aprender un “hecho” fisiológico estudiando este libro, dentro de diez años ese “hecho” puede ser inexacto debido a lo que los científicos hayan descubierto en ese tiempo. Por ejemplo, en 1970 los estudiantes aprendían que la membrana celular era como un “emparedado de mantequilla”, una estructura compuesta por una capa de lípidos encerrada entre dos capas de proteínas. En 1972, sin embargo, los científicos presentaron un modelo de membrana muy diferente, en el cual glóbulos de proteínas flotan dentro de una capa doble de lípidos.

Como resultado, los autores de libros de texto tuvieron que revisar su descripción de las membranas celulares, y los estudiantes que habían aprendido el modelo anterior tuvieron que cambiarlo.

¿De dónde vienen nuestros modelos científicos sobre la fisiología humana? Hemos aprendido mucho de lo que sabemos a partir de experimentos en animales, desde calamares hasta ratas. En muchas instancias, los procesos fisiológicos en estos animales son idénticos a los que ocurren en los seres humanos, o son lo suficientemente similares como para poder extrapolar los datos obtenidos. Es importante usar modelos no humanos, porque los experimentos en personas pueden ser difíciles de llevar a cabo.

Sin embargo, no todos los estudios hechos en animales pueden aplicarse a los seres humanos. Por ejemplo, un antidepresivo que se ha estado usando de manera segura durante años en Europa fue sometido a una prueba estricta requerida por la Food and Drug Administration de los Estados Unidos antes de poder ser comercializado en ese país. Cuando se les administró el fármaco a perros de raza beagle durante algunos meses, los animales comenzaron a morir por causas cardíacas. Los científicos se alarmaron, hasta que nuevas investigaciones mostraron que esta raza de perros posee una constitución genética única que permite la degradación del fármaco en una sustancia más tóxica. El medicamento era perfectamente seguro en otras razas de perros y en seres humanos, y en consecuencia se la aprobó para su comercialización.

Los resultados de los experimentos en seres humanos pueden ser difíciles de interpretar

Existen muchas razones por las cuales es difícil llevar a cabo experimentos en seres humanos, entre ellas la variabilidad, los factores psicológicos y las consideraciones éticas.

Variabilidad Las poblaciones humanas tienen una enorme **variabilidad** genética y medioambiental. Aunque los libros de fisiología generalmente presentan valores promedio para la mayoría de las variables fisiológicas, como la presión arterial, estos valores promedio simplemente son un número que queda en algún lugar cerca del medio de un amplio rango de valores. Así, para encontrar diferencias significativas entre los grupos y controles en los experimentos en seres humanos, un investigador debería, idealmente, incluir un gran número de sujetos idénticos.

Sin embargo, conseguir dos grupos de personas que sean *idénticas* en todos los aspectos es imposible. El investigador debe entonces intentar reclutar sujetos que sean *similares* en todos los aspectos posibles. En algunos países las búsquedas se publican en los periódicos: “Se buscan hombres sanos de 18 a 25 años, no fumadores, con un peso corporal cercano al ideal, para participar en un estudio...”. La variabilidad inherente incluso en un grupo selecto de personas debe ser considerada cuando se realizan estos experimentos, ya que puede afectar la capacidad del investigador de interpretar con precisión el significado de los datos obtenidos del grupo.

Una forma de reducir la variabilidad dentro de una población en estudio, ya sea humana o animal, es realizar un **estudio con grupos cruzados**. En un estudio de este tipo cada individuo actúa como sujeto experimental y como control. Así, la respuesta de cada individuo al tratamiento puede compararse con su propio

valor de control. Este método es en particular eficaz cuando existe mucha variabilidad dentro de la población. Por ejemplo, en un ensayo de una medicación para la presión arterial, los sujetos pueden dividirse en dos grupos. El grupo A recibe una sustancia inactiva (**placebo**, del latín “agradar”) durante la primera mitad del experimento, luego pasa a recibir el fármaco experimental en la segunda mitad. El grupo B comienza el fármaco experimental, y luego la cambia por el placebo. Este esquema le permite al investigador evaluar el efecto del agente en cada individuo. Estadísticamente, los datos obtenidos pueden analizarse usando varios métodos que contemplan los cambios en cada individuo más que los cambios en el grupo en general.

Factores psicológicos Otra variable significativa en los estudios en seres humanos es el aspecto psicológico de administrar un tratamiento. Si se le da a una persona una píldora y se le dice que le aliviará algún problema, existe una gran posibilidad de que tenga exactamente ese efecto, aun si contiene solamente azúcar o una sustancia inerte. Este fenómeno, que está bien documentado, se llama **efecto placebo**. De la misma manera, si se les advierte a las personas que el agente que están tomando puede tener un efecto adverso específico, esas personas informarán una mayor incidencia del efecto que un grupo similar que no haya recibido el aviso. Este fenómeno se denomina **efecto nocebo**, de la palabra latina *nocere*, hacer daño. Los efectos placebo y nocebo muestran la capacidad de nuestras mentes de alterar las funciones fisiológicas de nuestros cuerpos.

Al montar un experimento con sujetos humanos, se debe tratar de controlar los efectos placebo y nocebo. La manera más simple de hacerlo es con un **estudio con enmascaramiento o ciego**, en el cual los sujetos no saben si están recibiendo el tratamiento o el placebo. Aun esta precaución puede fallar, sin embargo, si el investigador que evalúa al sujeto sabe qué tipo de tratamiento está recibiendo. Las expectativas del investigador sobre lo que el tratamiento logrará, o no, pueden teñir sus observaciones o sus interpretaciones. Para evitar este problema, se realizan a menudo **estudios con doble enmascaramiento o doble ciego**, en los cuales un tercer individuo, no involucrado en el experimento, es el único que sabe qué grupo recibe el tratamiento experimental y qué grupo recibe el control. El diseño experimental más complicado para hacer mínimos los efectos psicológicos es el **estudio con grupos cruzados y doble enmascaramiento**, en el cual el grupo control de la primera mitad del experimento se transforma en el grupo experimental en la segunda mitad, y viceversa.

Consideraciones éticas Las cuestiones éticas surgen cuando se usan seres humanos como sujetos de experimentación, en especial cuando son personas que padecen una enfermedad. ¿Es ético privar al grupo control de un nuevo y promisorio tratamiento? Un ejemplo destacado ocurrió hace unos años, cuando los investigadores estaban probando la eficacia de un tratamiento para disolver los coágulos sanguíneos en las víctimas de infartos. La tasa de sobrevivencia entre los pacientes tratados fue tanto más elevada que el estudio se interrumpió, de manera que los miembros del grupo control recibiesen también el agente experimental.

Por el contrario, las pruebas realizadas con algunos agentes anticancerosos mostraron que los tratamientos experimentales

eran menos eficaces para detener la metástasis que los tratamientos estándar usados por los controles. ¿Era ético subtratar a los pacientes del grupo experimental privándolos de las prácticas médicas habituales y más eficaces? Actualmente, la mayoría de los estudios son evaluados de manera continua sobre la marcha para reducir la posibilidad de que los sujetos resulten perjudicados por participar.

En 2002, un ensayo sobre la terapia de reemplazo hormonal en mujeres menopáusicas se concluyó tempranamente cuando los investigadores notaron que las mujeres que tomaban una píldora con dos hormonas desarrollaban enfermedades cardiovasculares y cáncer con mayor frecuencia que las que recibían un placebo. Por otra parte, las mujeres que recibían hormonas tenían menores tasas de cáncer de colon y fracturas óseas. Los investigadores decidieron que los riesgos asociados con el tratamiento excedían los potenciales beneficios, y el estudio se interrumpió. Para aprender más sobre este ensayo clínico y sobre las ventajas y desventajas de la terapia de reemplazo hormonal, véase www.nlm.nih.gov/medlineplus/hormonereplacementtherapy.html, el sitio en Internet de la U.S. National Library of Medicine.

Los estudios en seres humanos pueden adoptar muchas formas

Casi a diario los periódicos muestran artículos acerca de ensayos clínicos sobre la eficacia de medicamentos u otros tratamientos médicos. Muchos aspectos diferentes del diseño experimental pueden afectar la validez y la aplicabilidad de los resultados de estos ensayos. Por ejemplo, algunos estudios se llevan a cabo solamente por un período de tiempo limitado en un número limitado de personas, como los estudios que realiza la Food and Drug Administration de los Estados Unidos en el proceso de aprobación de un fármaco. En varias instancias en los últimos años, medicamentos aprobados como resultado de estos estudios fueron posteriormente retirados del mercado, cuando su uso extendido develó sus efectos adversos e incluso muertes.

Los **estudios longitudinales** se diseñan para llevarse a cabo en un período de tiempo largo. Uno de los estudios longitudinales más famosos es el Framingham Heart Study (www.framingham.com/heart), que comenzó en 1948 y aún sigue realizándose. Éste es un **estudio prospectivo** (*prospectus*, por venir, mirar hacia adelante) que reclutó a personas sanas y las ha estado siguiendo durante años para identificar los factores que contribuyen al desarrollo de las enfermedades cardiovasculares. Este trabajo ya ha hecho importantes contribuciones a la atención sanitaria y continúa con los hijos, hoy adultos, de los participantes originales.

Otros diseños de estudios que pueden encontrarse en la literatura son los estudios transversales y los retrospectivos. Los **estudios transversales** analizan la prevalencia de una enfermedad o un trastorno en una población. Los datos de estos estudios identifican tendencias que luego deben ser investigadas con más detalle, por ejemplo, si un grupo etario o un nivel socioeconómico se asocian con un riesgo más elevado de desarrollar la enfermedad que se está evaluando. Los **estudios retrospectivos** (*retro*, hacia atrás; *spectare*, mirar) comparan grupos de personas que tienen una enfermedad en particular con un grupo control similar pero

GRÁFICOS

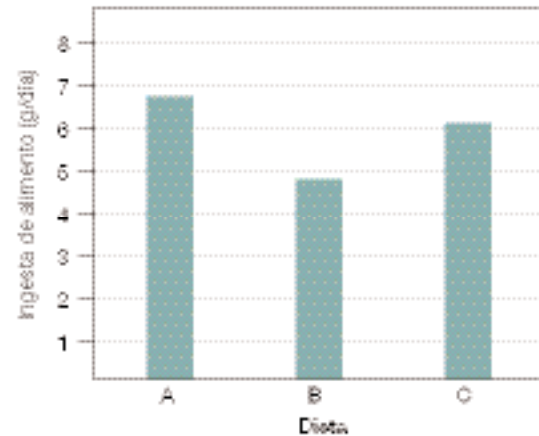
Los gráficos son representaciones gráficas de la relación entre dos (o más) variables, dibujadas en un área rectangular (Fig. 1-7a ■). Usamos gráficos para presentar una gran cantidad de datos numéricos en un espacio pequeño, para destacar comparaciones entre variables o para mostrar una tendencia a lo largo del tiempo. Un lector puede extraer información mucho más rápido de un gráfico que de una tabla de números o de una descripción escrita. Un gráfico bien construido debe contener (en forma muy abreviada) todo lo que el lector necesita saber sobre los datos, incluyendo el propósito del experimento, cómo se lo condujo y cuáles fueron sus resultados.

Todos los gráficos científicos tienen características comunes. La variable independiente (la variable manipulada por el experimentador) se grafica en el eje horizontal x . La variable dependiente (la que el experimentador mide) se grafica en el eje vertical y . Si el diseño experimental es válido y la hipótesis es correcta, los cambios en la variable independiente (eje x) causarán cambios en la variable dependiente (eje y). En otras palabras, y es una función de x . Esta relación puede expresarse matemáticamente, como $y = f(x)$.

Cada eje de un gráfico se divide en unidades representadas por marcas en el mismo, separadas por espacios iguales. Una leyenda nos dice qué variable representa el eje (tiempo, temperatura, cantidad de alimento consumido) y en qué unidades se la representa (días, grados Celsius, gramos por día). La intersección de los dos ejes se llama *origen*. El origen en general, aunque no siempre, tiene un valor de cero para ambos ejes. Un gráfico debe tener un título que describa lo que representa. Si se muestran varios grupos en un mismo gráfico, las líneas o barras que representan a cada uno deben tener nombres, o una clave que muestre que representa cada símbolo o color.

La mayoría de los gráficos que encontrará en fisiología muestran los datos como barras (gráficos de barras o histogramas), como líneas (gráficos de líneas) o con puntos (gráficos de dispersión). En la figura 1-7b-e se muestran cuatro tipos de gráficos. Los **gráficos de barras** (Fig. 1-7b)

(b) **Gráfico de barras.** Cada barra muestra una variable diferente. Las barras se alinean en el eje para poder ser comparadas entre sí. Los gráficos de barras científicos las tienen, en general, en posición vertical.



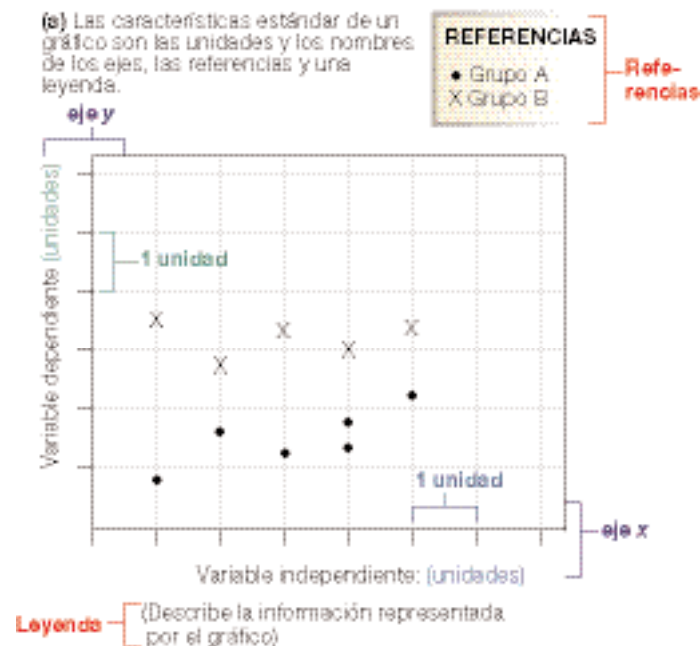
Se les administró a conejos una de tres dietas, y se controló su ingesta de alimentos durante tres semanas.



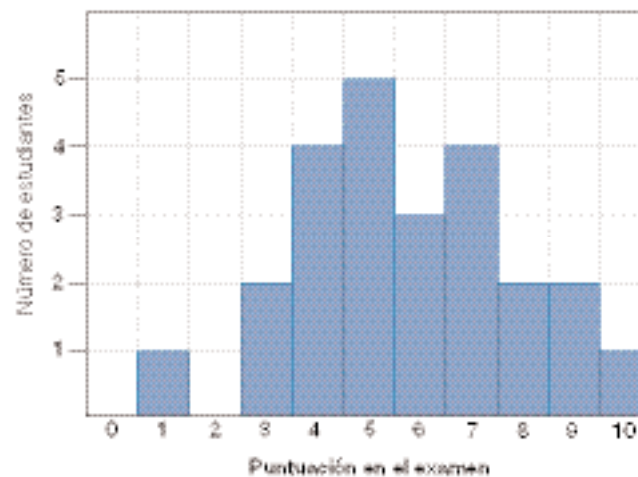
PREGUNTA

¿Qué alimento prefirieron los conejos?

se usan cuando las variables independientes son entidades diferentes. Un **histograma** (Fig. 1-7c) es un gráfico de barras especial que muestra la distribución de una variable para cierto intervalo de valores. El eje x



(c) **Histograma.** Un histograma cuantifica la distribución de una variable para un conjunto de valores.



Representación en un histograma de la distribución de la puntuación de los estudiantes en un examen de 10 puntos.



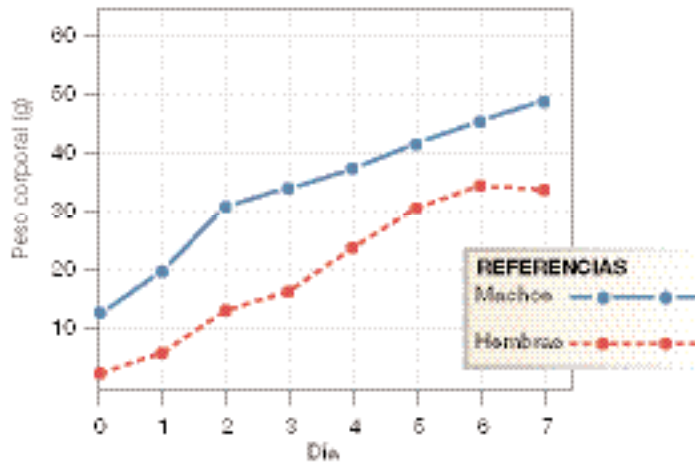
PREGUNTA

¿Cuántos estudiantes respondieron al examen?

■ FIGURA 1-7

GRÁFICOS (CONTINUACIÓN)

(d) Gráfico de líneas. El eje x en general representa el tiempo; los puntos representan observaciones promedio. Los puntos pueden unirse con líneas, en cuyo caso la pendiente de la línea entre dos puntos muestra la velocidad de cambio de la variable.

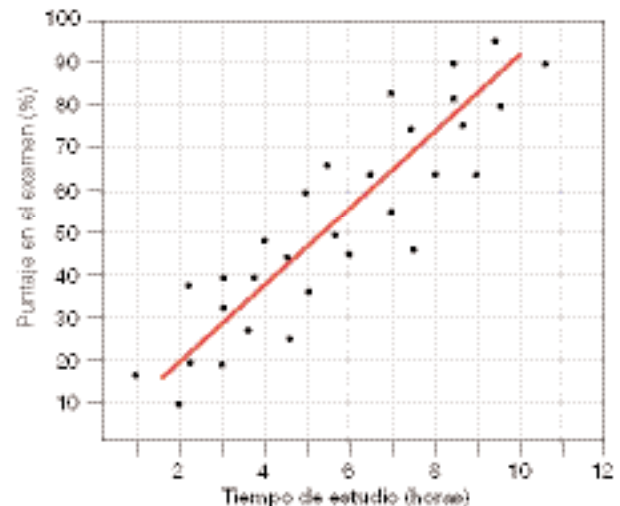


Ratones machos y hembras fueron alimentados con una dieta estándar y pesados diariamente.

PREGUNTA

¿Cuándo aumentaron más rápido de peso los ratones machos?

(e) Gráfico de dispersión. Cada punto representa un miembro de la población estudiada. Los puntos individuales nunca se unen, pero puede estimarse una línea de ajuste para mostrar la tendencia de los datos o, mejor aún, se puede calcular matemáticamente con una ecuación.



Los puntajes de los estudiantes se relacionaron directamente con el tiempo de estudio.

PREGUNTAS

Para los gráficos (d) y (e) responda a lo siguiente:

- ¿Qué intentaba determinar el investigador?

- ¿Cuáles eran las variables dependiente o independiente?
- ¿Qué resultados o tendencias indicaron los datos?

se divide en unidades (llamadas "bins" en algunos programas informáticos de gráficos), y el eje y indica cómo muchas partes de los datos se asocian con cada bin.

Los **gráficos de líneas** (Fig. 1-7d) se usan comúnmente cuando la variable independiente del eje x es un fenómeno continuo, como el tiempo, la temperatura o el peso. Cada punto del gráfico puede representar el promedio de un grupo de observaciones. Como la variable independiente es una función continua, los puntos del gráfico pueden conectarse con una línea (una conexión entre los puntos, o una línea una curva que "mejor se adapta" y que es calculada matemáticamente). La conexión entre los puntos permite al lector realizar **interpolaciones**, o estimar valores que se encuentran entre los medidos.

Los **gráficos de dispersión** (Fig. 1-7e) muestran la relación entre dos variables, como el tiempo de estudio antes de un examen y el puntaje obtenido en él. Generalmente cada punto del gráfico representa a un miembro de la población estudiada. Los puntos individuales de un gráfico de dispersión nunca se conectan con una línea, pero una "línea o curva" ajustada (la que mejor se adapta, puede indicar la tendencia de los datos).

Aquí hay algunas preguntas para hacerse cuando se trata de obtener información a partir de un gráfico:

1. ¿Qué variable representa cada eje?
2. ¿Cuál es la relación entre las variables representadas en los ejes? Esta relación en general puede expresarse sustituyendo los nombres de los ejes en la siguiente frase: y varía con x. Por ejemplo, en

el gráfico (b) la ingesta diaria de alimentos de los canarios varió con el tipo de dieta.

3. ¿Hay alguna tendencia aparente en el gráfico? Para los gráficos de líneas o de dispersión, ¿la línea es horizontal (sin cambios en la variable dependiente cuando cambia la dependiente o tiene una pendiente? ¿La línea es recta o curva? En los gráficos de barras, ¿tienen éstas la misma o diferentes alturas? Si son diferentes, ¿existe una tendencia en la dirección del cambio de altura?

REVISIÓN

2. Los estudiantes de un laboratorio de fisiología recolectaron datos sobre su frecuencia cardíaca. En cada caso, el parámetro se midió primero con el sujeto en reposo y después de haber realizado un ejercicio. Dos hallazgos del experimento fueron: 1) que la frecuencia cardíaca era mayor con el ejercicio que en reposo, y 2) que las mujeres tenían mayores frecuencias cardíacas en reposo que los hombres.

- a) ¿Cuál fue la variable independiente en este experimento? ¿Cuál fue la dependiente?
- b) Dibuje un gráfico y nombre cada eje con la variable correcta. Dibuje líneas de tendencia o barras que muestren los datos obtenidos.

Respuestas en la p. 18

sano, para ver si el desarrollo de la enfermedad puede asociarse con una variable en particular.

A menudo, los resultados de uno o varios estudios publicados no coinciden con los de otros estudios. En algunos casos, el motivo de ello resulta ser alguna limitación en el diseño de estudio, como el uso de un número pequeño de sujetos que puede no ser representativo de poblaciones más grandes. En otros casos, el problema puede deberse a diferencias pequeñas pero potencialmente significativas en el diseño experimental de los distintos estudios. Una forma en que los científicos intentan resolver estos resultados contradictorios es recurriendo a un **metaanálisis** de los datos (*meta*, después de). El metaanálisis combina todos los datos de un grupo de estudios similares y utiliza sofisticadas técnicas para extraer tendencias significativas o hallazgos de los datos combinados. Por ejemplo, se realizaron muchos estudios para evaluar si la glucosamina o el condroitín sulfato, dos suplementos dietarios, podrían mejorar los casos de enfermedades degenerativas de las articulaciones. Sin embargo, los estudios individuales tenían números pequeños de sujetos (menos de 50) y se habían realizado con diferentes regímenes de dosificación, haciendo difíciles las comparaciones. Un grupo de investigadores llevó a cabo un metaanálisis usando métodos estadísticos y concluyó que, en la mayoría de las investigaciones, la glucosamina sí tenía un efecto beneficioso.*

La dificultad para utilizar a seres humanos como sujetos de los experimentos es una de las razones por las cuales los científicos usan animales para desarrollar muchos de sus modelos. Desde la década de 1970, la experimentación en animales se ha incrementado en fisiología con técnicas desarrolladas por biólogos celulares y genetistas moleculares. A medida que hemos comprendido los fundamentos de cómo las señales químicas en el cuerpo son recibidas e interpretadas por las células, hemos desentrañado los misterios de muchos procesos. Al hacerlo, nos hemos acercado a la posibilidad de tratar varias enfermedades corrigiendo su causa, más que simplemente aliviando sus síntomas.

Cada vez más, la medicina se está volcando hacia las terapias basadas en intervenciones a nivel molecular. Un ejemplo clásico es el tratamiento de la fibrosis quística, una enfermedad hereditaria en la cual la mucosidad de los pulmones y el tubo digestivo es inusualmente elevada. Durante muchos años, los pacientes con este trastorno tenían pocas alternativas terapéuticas, y la mayoría moría a corta edad. Sin embargo, la investigación básica sobre los mecanismos mediante los cuales las sales y el agua se mueven a través de las membranas celulares brindaron pistas sobre la causa subyacente de la fibrosis quística: una proteína defectuosa en la membrana de ciertas células. Una vez que los genetistas moleculares hallaron el gen que codificaba a esa proteína, se abrió una puerta a la posibilidad de reemplazar el gen alterado por el gen de la proteína normal. Sin investigación básica sobre cómo las células y los tejidos llevan adelante sus funciones normales este tratamiento nunca se hubiese desarrollado.

A medida que lea este libro y aprenda lo que hoy sabemos sobre cómo funciona el cuerpo humano, tenga en cuenta que mu-

chos de los hechos aquí presentados reflejan modelos sobre nuestro conocimiento actual, y que están sujetos a cambios. Aún existen muchos interrogantes en fisiología que aguardan que los investigadores encuentren respuestas.

BÚSQUEDA Y LECTURA DE LITERATURA CIENTÍFICA

Una habilidad que el estudiante de fisiología debería adquirir es la de encontrar información en la literatura científica. En el mundo de hoy, la literatura científica puede hallarse tanto en forma impresa, en libros y periódicos, como en Internet. Los libros son un excelente recurso para obtener información básica general y para aprender sobre un tema. Sin embargo, a menos que el libro tenga una fecha de publicación muy reciente, puede no ser la fuente de información más actualizada.

Las publicaciones periódicas se llaman **revistas científicas**, y muchas están disponibles actualmente tanto en formato impreso como electrónico. Generalmente, estas publicaciones están patrocinadas por organizaciones científicas, como la American Physiological Society. Una revista científica contiene artículos que describen la investigación científica original de una persona o un grupo. Un científico que dice que va a “publicar un trabajo” se refiere generalmente a este tipo de presentación en una revista. La mayoría de los artículos de este tipo están **revisados por pares**, lo que significa que la investigación descrita en el trabajo ha pasado por un proceso de revisión en el cual un panel anónimo de dos o tres científicos calificados critican el material. La revisión por pares es como un control de calidad, porque un informe que no cumple con los estándares de los revisores será rechazado por el director de la revista.

Muchas revistas publican **revisiones**. Éstas son resúmenes de investigaciones recientes sobre un tema en especial. Cuando se está empezando a investigar un tema, se debe comenzar con las revisiones recientes, porque en general contienen más información actualizada que un libro que trate el mismo asunto.

Muchos estudiantes comienzan su búsqueda de información sobre un tema en Internet. ¡Cuidado! Cualquiera puede crear una página en la red y publicar información en ella. No hay un proceso de selección comparable con la revisión de las revistas científicas, y por lo tanto el lector de una página de Internet debe determinar cuán válida es la información que se brinda. Es probable que los sitios publicados por universidades reconocidas y por organizaciones sin fines de lucro tengan buena información, pero un artículo sobre vitaminas en la página de una tienda que vende alimentos saludables debería verse con escepticismo, a menos que el artículo cite investigaciones revisadas por científicos.

A menudo se busca en Internet utilizando Google (www.google.com), un motor de búsqueda desarrollado en la Universidad de Stanford. Cuando se buscan artículos de investigación, puede probarse con Google Scholar (www.scholar.google.com). Esta nueva herramienta de búsqueda ubica fuentes más serias, como revistas con revisión de pares y publicaciones académicas.

Definir los términos de búsqueda Cuando se decide buscar información, ya sea en Internet o en una de las muchas bases de datos

*Glucosamine and chondroitin for treatment of osteoarthritis: A systematic quality assessment and meta-analysis. *JAMA* 283(11):1469-1975, 2000. (www.jama.maassn.org)

que catalogan a las publicaciones científicas, el primer paso debería ser definir los términos de búsqueda. Luego se realiza una **búsqueda de palabras clave**. Las bases de datos como MEDLINE, publicada por la National Library of Medicine de los Estados Unidos, también tienen listas estandarizadas de términos indexados. Si se accede a PubMed, la versión de acceso libre de MEDLINE (www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed/), la búsqueda básica se hace escribiendo un término, en general en inglés. Si se accede a MEDLINE a través de un motor de búsqueda como Ovid, el programa tratará de relacionar la palabra ingresada con los términos del índice de la base de datos, que se llaman encabezados MeSH. Los encabezados MeSH encontrados son palabras relacionadas con la ingresada, patologías que tienen que ver con ella, etcétera. Para encontrar artículos de revisión, debe agregarse la palabra “review” a los términos de búsqueda o utilizar la función “límite” para acotar la búsqueda a las revisiones.

Cuando se realiza una búsqueda en Internet con una herramienta como Google, se deben pensar con más cuidado los términos de búsqueda que se usarán. Pequeños cambios en las palabras pueden causar grandes diferencias. Para comprobar esto, escriba una palabra en Google y vea cuántas respuestas obtiene listadas. Luego, escriba la misma palabra en plural, y vea las diferencias en lo que obtiene, y en el número de respuestas.

Para obtener un buen grupo de ayudas interactivas en la búsqueda en Internet, véase <http://tilt.lib.utsystem.edu/> (nótese que no hay www en esta dirección). Éstas ayudarán a aprender cómo buscar y evaluar sitios de Internet.

Formatos de citas Cuando se encuentra un artículo, ya sea impreso o en Internet, se debe bajar la cita completa. Los formatos de cita para los artículos de las revistas varían levemente en las distintas fuentes, pero en general contienen los siguientes elementos (con la puntuación que se muestra):

Autor(es). Título del artículo. *Nombre de la publicación* volumen(número): páginas incluidas, año de publicación.

Por ejemplo:

Echevarria M and Ilundain AA. Aquaporins. *J Physiol Biochem* 54(2):107-118, 1998.

En muchas citas, el nombre de la revista se menciona con abreviaturas estándar. Por ejemplo, el *American Journal of Physiology* se abrevia *Am J Physiol*. Para cada año calendario, se les asigna a todas las publicaciones de la revista un número de **volumen**;

la primera de un volumen dado es el **número** 1, la segunda es el número 2, y así sucesivamente.

Para citar fuentes de Internet se necesita un formato diferente. Aquí hay una sugerencia para hacerlo:

Autor/Editor (si se conocen). Fecha de revisión o de publicación (si se dispone). Título de la página (medio de publicación). Editor de la página. URL (fecha en que se accedió).

Por ejemplo:

Patton G (editor). 2005. Biological Journals and Abbreviations. (Online). National Cancer Institute. <http://home.ncicrf.gov/research/bja> (April 10, 2005).

A diferencia de los medios impresos, las páginas de Internet no son permanentes y a menudo desaparecen o cambian de lugar. Si se accede en Internet a una revista con versión impresa, se debe citar esta última, no la URL.

REVISIÓN

3. Lea la cita del artículo sobre acuaporina y responda las preguntas: a) ¿Quién es el primer autor?, b) ¿Cuál es el nombre completo de la revista en la cual se publicó el trabajo?, c) Suponiendo que se trata de una revista mensual, ¿en qué mes apareció el artículo?, d) ¿En qué página comienza el artículo?

Respuestas en la p. 18

Copiar o parafrasear material de otra fuente sin reconocerla es una falta de honestidad académica. La cita palabra por palabra entre comillas se usa poco en los trabajos científicos. En lugar de ello, se resumen los contenidos de un trabajo y se reconoce la fuente, de la siguiente manera:

Se sabe que algunas formas poco comunes de epilepsia están causadas por mutaciones en los canales iónicos (Mulley, *et al.*, 2003).

Cuando un trabajo tiene tres o más autores, se usa la abreviatura *et al.*, del latín *et alii*, que significa “y otros”, para ahorrar espacio en el cuerpo de un texto. Los nombres de todos los autores se consignan en una cita completa, que generalmente se incluye en una sección de Referencias al final del artículo. Las listas de referencias suelen ordenarse alfabéticamente según el apellido del primer autor.

Para saber más sobre la búsqueda y la lectura de literatura científica, acceda a The Physiology Place (www.physiologyplace.com).

RESUMEN DEL CAPÍTULO

1. La **fisiología** es el estudio del funcionamiento normal de los organismos vivos y las partes que los componen. (p. 2)

Sistemas fisiológicos

2. Los fisiólogos estudian los diversos **niveles de organización** de los organismos vivos, desde las moléculas hasta las especies. (p. 2; Fig. 1-1)

3. La **célula** es la unidad estructural más pequeña capaz de llevar a cabo todos los procesos vitales. (p. 2)
4. Los conjuntos de células que desarrollan funciones relacionadas forman **tejidos** y **órganos**. (p. 2)
5. El cuerpo humano tiene 10 sistemas y aparatos fisiológicos: **tegumentario, musculoesquelético, respiratorio, digestivo, urinario, inmunitario, circulatorio, nervioso, endocrino y reproductor**. (pp. 2-3; Fig. 1-2)

Funciones y procesos

- La **función** de un sistema o de un evento fisiológico es el “por qué” del sistema; el **proceso** por el cual dicho proceso ocurre es el “cómo” del sistema. El **enfoque teleológico** de la fisiología explica por qué ocurren los eventos; el **enfoque mecanicista** explica cómo ocurren. (p. 3)

Homeostasis

- El cuerpo humano como un todo está adaptado para responder a un entorno variable, pero la mayoría de las células individuales tolera muchos menos cambios. (p. 3)
- La **homeostasis** es el mantenimiento de un medio interno relativamente constante. Entre los **parámetros** que están regulados homeostáticamente se hallan la temperatura, el pH, las concentraciones de iones y el agua. (pp. 4-5)
- El medio interno del organismo es el **líquido extracelular**. (p. 4; Fig. 1-3)
- La incapacidad de mantener la homeostasis puede conducir a la enfermedad. (p. 5; Fig. 1-4)

Fisiología: más allá del genoma

- El enfoque de las investigaciones actuales pasó de la identificación de las proteínas del cuerpo al estudio de cómo esas proteínas y otras moléculas influyen en las funciones del organismo. (p. 6)

La fisiología es una ciencia integradora

- Muchas funciones complejas son **propiedades emergentes** que no pueden predecirse a partir de las propiedades de las partes que las componen. (p. 6)
- La investigación aplicada lleva los resultados de la investigación fisiológica básica a los problemas médicos. (p. 7)

Temas de fisiología

- Los cuatro temas principales de la fisiología son la homeostasis y los sistemas de control, el uso de la energía biológica, las relaciones entre estructura y función, tales como las **interacciones moleculares** y la **compartimentación**, y la comunicación entre las células. (pp. 7-9)

La ciencia de la fisiología

- La observación y la experimentación son los elementos clave de la **investigación científica**. Una **hipótesis** es una suposición lógica sobre cómo ocurre un evento. (p. 9)
- En la experimentación científica, el factor manipulado por el investigador es la **variable independiente**, y el factor observado es la **variable dependiente**. Todo experimento bien diseñado tiene un **control** para asegurarse de que los cambios observados se deben a la manipulación experimental y no a otro factor externo. (pp. 9-10)
- Los **datos**, la información recolectada durante el experimento, se analizan y se presentan, a menudo en forma de gráfico. (p. 10)
- Una **teoría científica** es una hipótesis que ha sido confirmada por los datos en varias ocasiones. Cuando la evidencia experimental nueva no coincide con una teoría o modelo, entonces éstos deben ser revisados. (p. 10)
- La experimentación en animales es una parte importante del aprendizaje de la fisiología humana debido a la enorme **variabilidad** entre los seres humanos, y porque es difícil controlar los experimentos en estos últimos. Además, cuando se utilizan seres humanos como sujetos de experimentación surgen problemas éticos. (p. 10)
- En un **estudio con grupos cruzados**, cada participante actúa como sujeto de experimentación y como control. Durante la mitad del experimento, recibe una sustancia inactiva llamada **placebo**. Una dificultad de los experimentos con humanos surge de los **efectos placebo** y **nocebo**, en los cuales ocurren cambios aun cuando el tratamiento es inactivo. (pp. 10-11)
- En un **estudio con enmascaramiento o ciego**, el sujeto no sabe si está recibiendo el tratamiento experimental o un placebo. En un **estudio con doble enmascaramiento o doble ciego**, una tercera persona que no participa del experimento es la única que sabe cuál grupo es el experimental y cuál el control. En un **estudio con grupos cruzados y doble enmascaramiento**, el grupo control de la primera mitad del experimento se transforma en grupo experimental en la segunda, y viceversa. (p. 11)
- El **metaanálisis** de los datos combina los obtenidos en varios estudios para observar tendencias. (p. 14)

Búsqueda y lectura de la literatura científica

- La literatura científica puede encontrarse en formato impreso y electrónico. El lector debe evaluar en forma crítica cada fuente, para determinar su validez. (p. 14)

PREGUNTAS

(Véanse las respuestas en el apéndice A)

NIVEL UNO: REVISIÓN DE HECHOS Y TÉRMINOS

- Defina fisiología. Describa la relación entre la fisiología y la anatomía.
- Nombre los distintos niveles de organización en la biosfera y las disciplinas que estudian cada uno de ellos.
- Nombre los diez sistemas y aparatos del organismo y mencione su función o funciones principales.
- ¿Qué significa que “la fisiología es una ciencia integradora”?
- Defina homeostasis. Nombre algunos parámetros fisiológicos que se mantengan homeostáticamente.
- Nombre cuatro temas principales de la fisiología.

NIVEL DOS: REVISIÓN DE CONCEPTOS

- Creación de un mapa conceptual:** Dibuje un gran mapa que muestre la organización del cuerpo humano. Muestre todos los niveles de

organización (véase fig. 1-1) y los diez sistemas y aparatos orgánicos. Trate de incluir las funciones de todos los componentes del mapa y recuerde que algunas estructuras pueden compartir funciones. (Sugerencia: comience con el cuerpo humano como término más importante. Puede también dibujar la silueta de un cuerpo y desarrollar el mapa sobre esta base).

- Mencione las diferencias entre los términos de cada grupo.
 - tejidos y órganos.
 - eje x y eje y en un gráfico.
 - variables dependiente e independiente.
 - enfoques teleológico y mecanicista.
 - medio interno y medio externo para el cuerpo humano.
 - estudios clínicos ciego, doble ciego y con grupos cruzados.
- Mencione todos los órganos o estructuras corporales que pueda, que se conecten directamente con el medio externo.
- ¿Qué sistemas orgánicos son responsables de la coordinación de las funciones corporales? ¿Y de proteger al organismo de los agentes invasores? ¿Qué sistemas intercambian materiales con el medio externo, y qué intercambia cada uno?

NIVEL TRES: RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

11. Un grupo de expertos en biología fueron a un centro comercial y preguntaron a los transeúntes: “¿Por qué fluye la sangre?” Éstas son algunas de las respuestas que recibieron. ¿Cuáles de ellas son teleológicas y cuáles mecanicistas? (No todas las respuestas son correctas, pero aun así se las puede clasificar).
- Por la gravedad
 - Para llevar oxígeno y nutrientes a las células
 - Porque si no fluyese, moriríamos
 - Por la acción propulsora del corazón
12. Aunque la deshidratación es uno de los problemas fisiológicos más importantes que deben superar los animales terrestres, existen otros. Mencione tantos como pueda, y piense varias estrategias que los distintos seres terrestres tienen para superarlos. (Sugerencia: piense en los seres humanos, los insectos y los anfibios; piense también en todos los hábitats terrestres posibles).

NIVEL CUATRO: PROBLEMAS ANALÍTICOS

13. Un grupo de estudiantes deseaba ver el efecto de una dieta deficiente en vitamina D sobre el crecimiento de peces pequeños de agua dulce. Los alimentaron con una dieta de esas características, y midieron el largo corporal cada tres días, durante tres semanas. Los datos obtenidos fueron:

Día	0	3	6	9	12	15	18	21
Longitud del cuerpo promedio (mm)	6	7	9	12	14	16	18	21

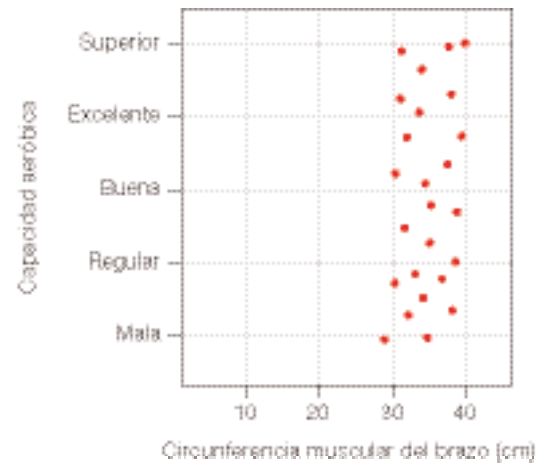
- ¿Cuáles fueron las variables independiente y la dependiente en este experimento?
 - ¿Cuál fue el control?
 - Construya un gráfico con nombres y leyendas, utilizando los datos de la tabla.
 - ¿Durante qué período de tiempo el crecimiento fue menor? ¿Cuándo fue más rápido? (Utilice el gráfico para responder estas preguntas.)
14. Usted llevó a cabo un experimento en el cual midió los volúmenes de nueve rodajas de patata, luego las sumergió en soluciones de diferente salinidad durante 30 minutos. Entonces, midió nuevamente el volumen de las nueve rodajas. Los cambios observados fueron:

% de cambio de volumen a los 30 minutos			
SOLUCIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Agua destilada	10%	8%	11%
1% sal (NaCl)	0%	-0,5%	1%
9% sal (NaCl)	-8%	-12%	-11%

- ¿Cuál fue la variable independiente en este experimento? ¿Cuál la dependiente?
 - ¿Puede decir a partir de la información dada si hubo o no un control en este experimento? Si lo hubo, ¿cuál fue?
 - Grafique los resultados del experimento utilizando el tipo de gráfico más adecuado.
15. Al finalizar el semestre, una clase de nivel intermedio de 25 levantadores de pesas varones fue evaluada para determinar su condición aeróbica

ca y la medida de su circunferencia muscular en el brazo. La relación entre las dos variables se muestra en un gráfico en la figura 1-8.

- ¿Qué tipo de gráfico es éste?
- ¿Cuál era la pregunta que se planteaban los investigadores?
- En una frase, resuma la relación entre las dos variables graficadas.

**FIGURA 1-8**

16. Responda a las preguntas al final del siguiente resumen de un artículo. Un estudio reciente* se llevó a cabo en personas voluntarias para determinar si dos procedimientos realizados durante la cirugía artroscópica (*arthro*, articulación; *scopium*, mirar) son eficaces para aliviar el dolor de rodilla asociado con la artrosis, o enfermedad articular degenerativa. Los voluntarios tenían hasta 75 años, y fueron reclutados del Veterans Affairs Medical Center. El 93% era de sexo masculino y el 60% de raza blanca. Un tercio de los sujetos fue sometido a operaciones de tipo placebo, es decir, se les dio anestesia y se hizo una incisión en la rodilla, pero el resto del tratamiento no se llevó a cabo. Los dos tercios restantes del grupo fueron sometidos a uno de los dos procedimientos. Se siguió a los sujetos durante dos años, al cabo de los cuales respondieron a una serie de preguntas acerca del dolor y el funcionamiento de su rodilla, y se los sometió a pruebas objetivas caminando y subiendo escaleras. Al final del estudio, los resultados mostraron que no había diferencias significativas en la función de la rodilla ni en la percepción del dolor entre los sujetos que recibieron uno de los tratamientos estándar y quienes recibieron el tratamiento placebo.
- ¿Considera que es ético realizar cirugías de tipo placebo en seres humanos que sufren una enfermedad, aun si se les informa que pueden recibir este tratamiento en lugar de una intervención convencional?
 - Mencione dos explicaciones posibles para la disminución del dolor informada por los pacientes sometidos a la intervención de tipo placebo.
 - Analice y critique el diseño experimental de este estudio. ¿Los resultados son aplicables a cualquier persona con dolor de rodilla?
 - ¿El diseño del estudio fue ciego, doble ciego, o doble ciego con grupos cruzados?
 - ¿Por qué piensa que los investigadores creyeron necesario incluir un grupo placebo en este estudio?

*A controlled trial of arthroscopic surgery for osteoarthritis of the knee. *N Eng J Med* 347(2): 81-88, 2002.

RESPUESTAS

✓ Respuestas a las preguntas de revisión

Página 10

1. La variable independiente es la cantidad de agua que beben los estudiantes. La variable dependiente es la cantidad de orina.

Página 13

2. a) El nivel de actividad fue la variable independiente (eje x), y la frecuencia cardíaca, la dependiente (eje y). b) Un gráfico de líneas sería apropiado para estos datos, pero también puede usarse un gráfico de barras si la intensidad del ejercicio es la misma en todos los sujetos. c) Para mostrar la diferencia entre hombres y mujeres, los gráficos deberían tener líneas o barras separadas para cada sexo.

Página 15

3. a) M. Echevarria, b) *Journal of Physiology and Biochemistry*, c) Es el número 2 que apareció en febrero, d) página 107.

Respuestas a las preguntas de las figuras

Página 7

Fig. 1-5: a) Puede incluir diferentes tipos de panes, carnes, etc., o agregar una categoría de características de los emparedados, como temperatura (frío, caliente) o las capas (simple, varias).

Páginas 12-13

Fig. 1-7b: Los pájaros prefirieron la dieta A.

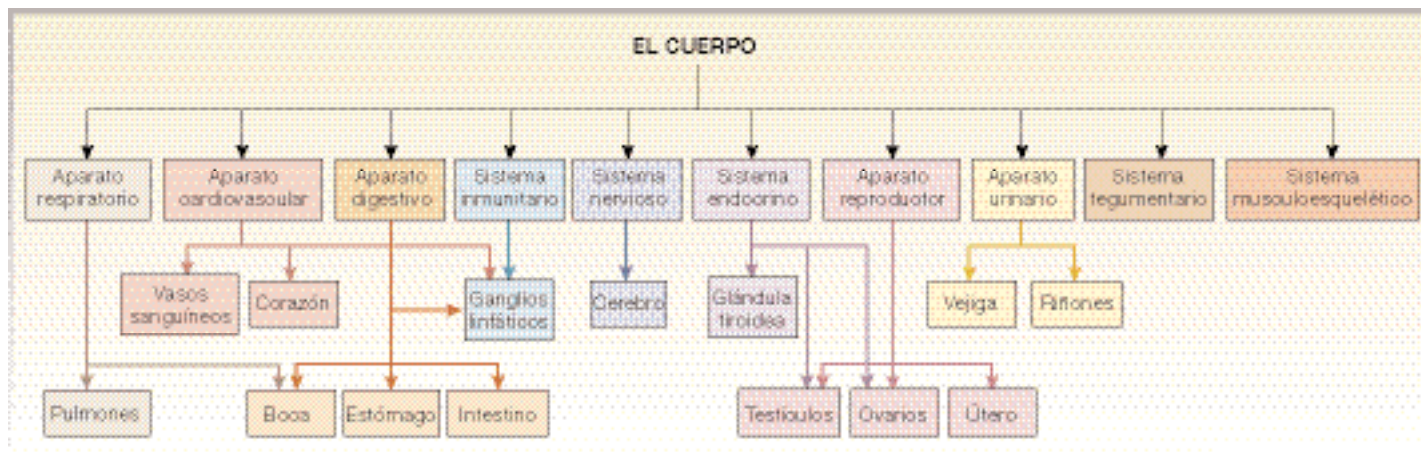
Fig. 1-7c: Veinticuatro estudiantes respondieron las preguntas.

Fig. 1-7d: Los ratones machos (línea azul) incrementaron su peso en mayor medida entre los días 1 y 2.

Fig. 1-7e: a) En el gráfico 1-7d, el investigador observó los cambios del peso corporal en el tiempo de los ratones machos y hembras. En el gráfico 1-7e, trató de determinar si había una relación entre el tiempo que el alumno pasaba estudiando para un examen y el puntaje obtenido. b) En el gráfico 1-7d, la variable independiente es el tiempo y la variable dependiente, el peso corporal. En el gráfico 1-7e, la variable independiente es el número de horas de estudio, y la dependiente, el puntaje del estudiante. c) El gráfico 1-7d muestra que los ratones machos pesaban más que las hembras desde el inicio del experimento, y que el peso corporal aumenta con el tiempo. La velocidad de incremento es prácticamente la misma en machos y hembras, según muestran las líneas casi paralelas. El gráfico 1-7e muestra que más horas de estudio dieron como resultado mejores puntuaciones en el examen.

Página 18

Fig. 1-9 ■. Este mapa de muestra es una de las maneras posibles de ordenar los términos. Nótese que algunos de ellos están unidos a más de uno de los demás. El mapa no incluye muchos términos que podrían agregarse.



■ FIGURA 1-9